

中等专业学校教材

(第三版)

工程地质与水文地质

山西省水利学校

张建国

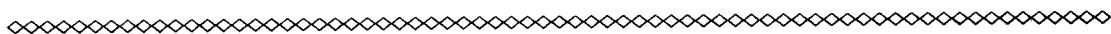
主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

中等专业学校教材



工程地质与水文地质

(第三版)

山西省水利学校 张建国 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书介绍了工程地质与水文地质的基本知识。主要内容有：绪论、地层岩性、地质构造与岩体结构、物理地质作用与不良地质现象、水文地质、水利工程地质等。

本书内容丰富，重点突出，联系实际，注重应用，每章都给出了小结（知识点归纳）和复习思考题与练习，便于普通中专和五年制高职大专班学生阅读，并可供水利工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

工程地质与水文地质/张建国主编.—3版.—北京：中国水利水电出版社，2001（2009重印）

中等专业学校教材

ISBN 978-7-5084-0658-9

I. 工… II. 张… III. ①工程地质-专业学校-教材
②水文地质-专业学校-教材 IV. P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 039470 号

书 名	中等专业学校教材 工程地质与水文地质（第三版）
作 者	山西省水利学校 张建国 主编
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 270千字 2插页
版 次	1985年5月第1版 1993年10月第2版 2001年9月第3版 2009年8月第9次印刷
印 数	79441—82440册
定 价	21.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第三版前言

本书是根据水利部“1995~2000年普通中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划”而编写的。根据全国水利水电中专工程地质课程组会议讨论意见,对1993年出版的《工程地质与水文地质》(第二版)教材进行了改编。本教材主要适用于普通中等专业学校水利水电工程专业和农业水利技术专业,也可作为五年制高职大专班同类专业的教材。

本书以地质学为基础,结合国内外水利水电工程实例,使学生了解地质与水利的关系,熟悉普通地质、水文地质和工程地质的基本知识,培养学生阅读地质资料和分析工程地质条件的能力,初步学会评价水利工程地质问题的方法,并对水利环境地质问题有所了解。因此,在教材编写过程中,以GB50287—99《水利水电工程地质勘察规范》为依据,对传统教学内容进行了筛选和创新处理,并在注重能力培养和以实用为主线构建教材知识结构体系等方面进行了有益的探讨,对比较成熟或相对稳定的新知识、新技术积极加以引用,力求反映职教特色,突出应用性,体现先进性。同时,根据素质教育的要求,适当扩大地质知识面,使学生对地球、自然地理环境和地质条件在人类生产、生活中的重要性有较多的了解,这对他们将来的工作、学习和生活也是有意义和有用的。

全书由山西省水利学校张建国主编,黄河水利职业技术学院苏巧荣和长沙水电学院刘亚军参编。经黄河水利职业技术学院吴曾生主审,给教材润色不少。

在本书编写和出版过程中,赵惠君同志帮助审核校对和整理插图,在此表示谢意。

鉴于编者水平所限,不当之处,诚恳地欢迎读者批评、指正。

编 者

2001年8月

第二版前言

本书根据水利部“1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划”及1988年4月修订的中专水利水电工程建筑专业《工程地质》及农田水利、水利工程专业《工程地质与水文地质》教学大纲，对1985年出版的《工程地质与水文地质》进行修订而成的。

《工程地质》、《工程地质与水文地质》分别为上述三个专业的技术基础课。为满足三个专业的教学需要，在修订编写过程中，对本书原版做了较大的变动和补充，力争体现中专教材特色；精选内容、深浅适度，以本学科的基本理论、基本概念、基本技能为主，理论联系实际，结合生产实践，适当地反映本学科的新成就。

全书由湖南省水利学校费乐、浙江省水利水电学校徐纯筠、辽宁省水利学校吴绍宽编写，吴绍宽任主编。

本书由黄河水利学校刘俊德高级讲师主审，提出了许多宝贵意见和建议。

本书在编写过程中，参考和引用了一些大学、中专学校和生产单位的一些教材和成果资料，在此一并致谢。

对于本书存在的不足和欠妥之处，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1992年11月

第 一 版 前 言

本书是根据“1983~1987年中等专业学校水利电力类专业教材编审出版规划”组织编写的。

《工程地质与水文地质》是农田水利工程专业的技术基础课之一。它内容多,涉及面广,实践性强。因此,本教材在编写过程中,力求运用辩证唯物主义观点,注意教材内容要“少而精”、理论联系实际的原则。着重讲清工程地质与水文地质的基本概念、理论和方法,紧密结合农田水利工程建设中的主要地质问题。另外,还适当反映了本学科的发展方向。

本书由辽宁省水利学校吴绍宽(绪论、第一、三、四章)、湖南省水利学校费乐(第二章)、黑龙江水利工程学校赵玉友(第五、六章)编写。全书由吴绍宽同志主编。

本书由成都水力发电学校李道荣同志主审,提出了许多修改意见和建议。教材初稿于1983年7月经中等专业学校水利水电工程建筑、农田水利工程专业教学研究会地质及土力学课程组会议讨论,与会同志提出了许多宝贵意见。清华大学水利系、大连工学院水利系、湖南省水利勘测设计院及辽宁省水利勘测设计院等单位,对本书的编写提供了许多宝贵的资料和经验,在此,一并表示感谢。

对于本书中存在的缺点和错误,诚恳地希望批评指正。

编 者

1984年4月

目 录

第三版前言

第一版前言

第二版前言

绪论	1
第一章 地层岩性	6
第一节 地球概述	6
第二节 造岩矿物	15
第三节 岩石	22
第四节 岩石的工程地质性质	30
本章小结	38
复习思考题与练习	39
第二章 地质构造与岩体结构	41
第一节 地壳运动概述	41
第二节 倾斜构造和岩层产状	44
第三节 褶皱构造	47
第四节 断裂构造	50
第五节 地震	58
第六节 岩体结构	65
第七节 地质图的阅读与分析	69
本章小结	75
复习思考题与练习	76
第三章 物理地质作用与不良地质现象	79
第一节 风化作用	79
第二节 地面流水的地质作用	83
第三节 崩塌与滑坡	89
第四节 喀斯特	94
第五节 第四纪沉积物的工程地质特征	99
本章小结	101
复习思考题与练习	102
第四章 水文地质	104
第一节 地下水的形成	104
第二节 地下水的类型	105
第三节 地下水的运动	113

第四节 地下水资源评价	119
本章小结	130
复习思考题与练习	131
第五章 水利工程地质.....	133
第一节 坝基岩体稳定问题	133
第二节 隧洞围岩稳定问题	142
第三节 坝库区的渗漏问题	151
第四节 水利环境地质问题	156
第五节 坝址和坝型选择的工程地质条件	161
本章小结	171
复习思考题与练习	171
参考文献.....	175
附图一 清水河水库库区工程地质图	
附图二 清水河水库梅村坝址区工程地质图	
附图三 梅村坝址第一坝轴线专门性工程地质剖面图	

绪 论

一、地质与水利

地质学是研究地球的科学。它除了研究地球及其各圈层的起源、结构、组成物质、演化历史和运动规律外，还通过系统研究资源、能源、环境、生态、自然灾害和地球信息问题，为国家宏观决策和重大工程项目的可行性研究提供科学依据。地质科学在国家经济、社会发展中占有举足轻重的地位。1996年，江泽民同志在会见第30届国际地质学大会的中外地质界知名人士时指出：“矿产资源、水资源、地震、火山、滑坡、地面沉降、海平面上升、表土的沙漠化等等，都与地质工作关系密切，因此，地质工作是实施可持续发展战略的支柱性、基础性工作。”

工程地质学与水文地质学，是从近代地质科学发展起来的两门新兴学科。工程地质学是研究与工程建筑有关的地质问题的科学；水文地质学是研究地下水的科学。这两门学科都是地质科学知识和经验在生产实践中的应用。

水利是人类开发利用水资源和防治水旱灾害的活动。它主要包括防洪、治涝、抗旱、灌溉、排水、城市和工业供水、人畜饮水、水力发电、水土保持、水运、水产养殖和水环境保护等方面。水利的基本手段是兴修各类水利工程。一切水利工程都是修建在地壳表层上，自然界的地质体和地质环境与水利工程建设有着密切的关系。可以说，水利建设离不开地质学，尤其是工程地质学与水文地质学。地质工作不仅是水利建设的开路先锋，而且贯穿其全部过程，要确保查明并充分考虑到影响工程选址、设计、施工、运营和维护的所有地质因素，充分利用有利的工程地质条件，分析可能出现的工程地质问题，并注意不良地质现象对工程的影响，以及由于工程兴建而引起的新的地质问题。地质工作的好坏，直接关系到工程建筑的安全稳定性、技术可行性和经济合理性。

（一）水利工程地质条件

水利工程地质条件，是指与水利工程建筑有关的地质条件的总和。它包括地形地貌、地层岩性、地质结构（地质构造与岩体结构）、物理地质现象、水文地质条件和天然建材等六个方面。在水利工程建设之前，工程地质工作首要的根本任务就是要查明建筑地区的工程地质条件，为建筑场地的选择、工程的布置和优化设计提供所需的工程地质资料。如果对地质条件事先没有仔细查明，工程设计没有可靠的地质依据，就会给工程留下隐患。据国际大坝委员会的不完全统计，世界上发生事故的589座水坝，其中大多数与不良的地质条件有关。如法国的马尔帕塞薄拱坝，坝高66m，由于坝基左岸岩体裂隙发育，未经地基处理，蓄水后岩体发生张裂位移达2.1m，致使整个坝体于1959年12月2日崩溃，水库拦蓄的3000万m³水顿时下泄，冲毁下游一个村镇，死亡400余人，经济损失达6800万美元。

举世闻名的巴拿马运河，是沟通太平洋和大西洋的洋际水道。从1882年动工开凿，到1914年通航，历时33年之久，全长93km（图1）。施工期间，在两大洋分水岭的挖方地段（即盖拉尔段）不少岸边滑动，严重的塌方延缓了工期，造成人员的大量伤亡。运河完工后

的第二年，挖方地段又发生巨大的山崩和滑坡（如东库累布腊滑坡），崩塌体堵死了开通的运河。为此，又花了5年时间，挖土石5800万 m^3 ，相当于这一段运河总开挖量的40%之多，单是停航5年的经济损失就达10亿美元。原因是分水岭地段岩性较软，主要为粘土页岩，次为砂岩和砾岩，岩体破碎，风化强烈，人工开挖后形成临空面，从而导致挖方段不少岸坡沿着页岩与砂砾岩的界面发生滑动破坏。为此，美国政府付出了沉痛的代价。

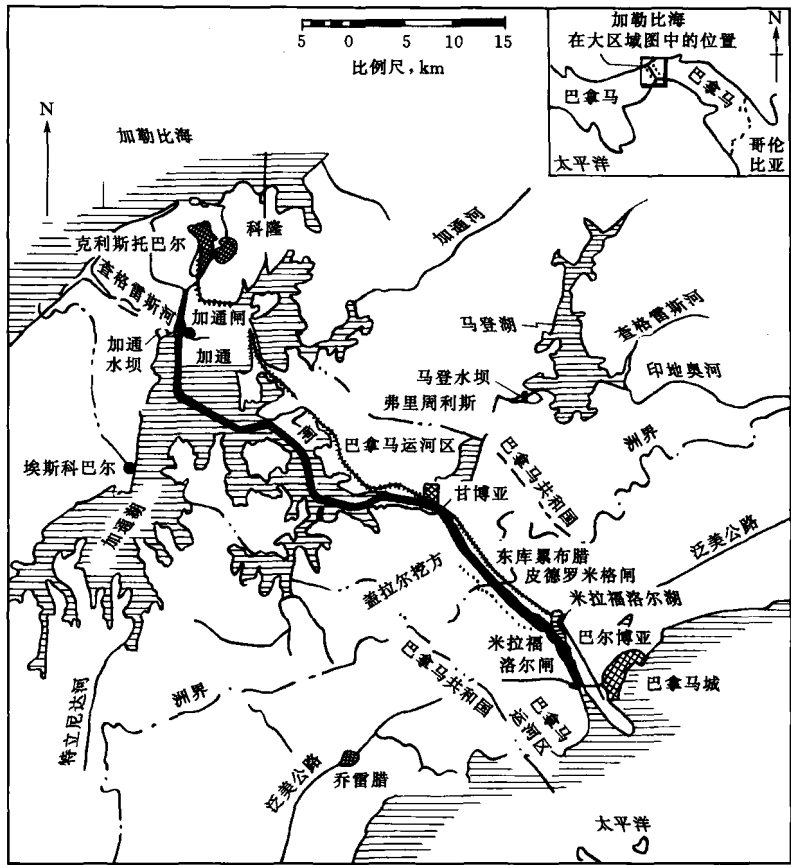


图1 巴拿马运河图

由此可见，在自然界很难找到完全适合工程建筑要求的地质条件，每一项工程或多或少总会程度不同地存在着工程地质问题。工程地质工作的中心任务就是要分析和预测可能发生的工程地质问题，提出对不良工程地质问题处理的措施和建议。

(二) 水利工程地质问题

水利工程地质问题，是指水利工程与地质条件之间的矛盾，即场地的工程地质条件不能满足水工建筑物稳定、经济和使用等方面的要求，而存在的地质缺陷和问题。水利工程建设中常遇到的有三大工程地质问题，即稳定问题（包括坝基、坝肩、库岸、渠道边坡、隧洞围岩及进出口边坡稳定等）、渗漏问题（包括坝区、库区、渠道渗漏等）和水利环境地质问题。新中国成立50多年来，水利建设取得了举世瞩目的成就，兴修的24.5万km长的江

河堤防和 8.4 万座水库等一大批水利工程,保证了全国 1/3 耕地和 1/2 人口的防洪安全,保护了 60% 以上的工农业产值,每年向工农业和城市供水 5200 亿 m^3 。这些工程无论对发展工农业生产,还是抗御水旱灾害,保护人民生命财产都发挥了重要作用。在水利建设中,我国水利地质工作者进行了系统的(从区域地质、坝区地质到库区地质等方面)工程地质勘察和研究,在高水头、大流量、高地震烈度、复杂地质地形条件下,已成功修建了刘家峡、乌江渡、龙羊峡等百米以上的高坝大库,同时也解决了许多国内外少见的工程地质问题,如在建的黄河小浪底工程坝基深厚松散层渗漏和稳定问题,左岸泄洪、排沙、灌溉和引水发电等 16 条隧洞组成的地下工程围岩稳定问题,长江三峡工程永久船闸开挖高边坡稳定问题,坝基深层抗滑稳定问题,水库诱发地震问题等。但是,也有一些工程对复杂的地质问题缺乏详细的工程地质勘察研究,一些设计方案没有充分的地质依据,结果导致施工困难,拖延工期,遗留后患需要进行处理,工程效益长期不能发挥。如北京十三陵水库,坝基和库区存在着深厚的古河道砂砾石层,透水性较强,建坝初期未作垂直防渗处理,致使水库多年不能正常蓄水。20 世纪 60 年代作了坝基防渗处理,坝基不漏了,但库区古河道仍在渗漏,使约 50% 的库水流失。直到 1991 年为兴建抽水蓄能电站,在库区做了一道防渗墙,才彻底解决了渗漏问题。

黄河三门峡水利工程,是万里黄河干流上修建的第一座水利枢纽,担负防洪、防凌、供水和发电等任务。该工程混凝土重力坝高 106m,长 875m,库容 96 亿 m^3 。1960 年 9 月水库建成蓄水后,引起岸边黄土崩塌,塌岸宽度一般 30~90m,最宽达 294m,长度 200 多 km,占全部库岸线的 41.5%。加上黄河水含沙量高(平均为 $32.21\text{kg}/\text{m}^3$,洪水期为 $651\text{kg}/\text{m}^3$),库区淤积问题严重。水库淹没、浸没范围扩大,引起周围地下水位抬高,土地盐碱化和沼泽化 30 万亩。淤积末端上延,库尾潼关一带渭河入黄不畅,雨季洪水对古城西安构成威胁。为此,分别在 1965 年和 1967 年对枢纽工程的泄流建筑物进行了两次改造,增建了泄流设施,加大了排沙能力,水库也改为低水头运行,原设计发电装机 120 万 kW,直到 1973 年 12 月 26 日第一台机组才并网发电,长期装机容量只有 20 万 kW,工程效益不能充分发挥。三门峡水库经历了蓄水滞洪(1960~1964 年)、滞洪排沙(1965~1973 年)和蓄清排浑、调水调沙(1974~1982 年)运行三个阶段,现在基本达到了泥沙冲淤平衡,成功地解决了泥沙淤积问题,发电装机也增至 40 万 kW。造成三门峡水库塌岸和淤积问题的原因是:当时我们缺乏实践经验,加上委托国外专家设计,对库区特殊的自然地理条件和地质环境认识不够,对黄河中上游水土流失、黄土湿陷、泥沙淤积的严重性和它的影响估计不足,把治理黄河泥沙问题看得太简单了。从三门峡水库的修建和运行实践可以看出,在多泥沙的河流上兴修水库,宜选择峡谷型库区,设计足够的坝高,确定合理的运行水位,布置足够的泄流和排沙设施,拟定适合来水来沙条件和库区特点的运行方式,这样水库就不会淤积。

水利水电工程实践证明,工程建筑不怕地质条件复杂,也不怕地质问题繁多,只要在工程建设的全部过程中重视地质工作,就能从地质角度保证建筑物安全稳定与经济合理。水利工程地质勘察工作程序可分为规划、可行性研究、初步设计和技施设计四个阶段,其工作方法有工程地质测绘、勘探、试验和长期观测等(详见水利水电工程地质勘察 VCD 光盘)。

(三) 水文地质条件

水文地质条件包括地下水的形成、分布、埋藏条件和运动规律,以及地下水的水质、水量及其动态变化特征等。在水利建设中,水文地质工作不仅要配合上述工程地质工作,提供有关地下水方面的资料,以综合研究建筑物的稳定和渗漏问题,而且要合理开发利用地下水资源,防治地下水害,这在保证工业和城镇供水、农田灌溉、人畜饮水、防涝治碱和环境保护等方面,都具有十分重要的意义。尤其是对一个水资源短缺的国家,开发利用地下水对社会的稳定和地区经济的发展有着特殊重要的作用。

我国水资源总量为 28124 亿 m^3/a ,其中地下水资源为 8288 亿 m^3/a ,约占总水量的 30%。但水资源的时空分布差异较大,北方人均、亩均水资源占有量分别仅为南方的 1/6 和 1/10,特别是黄淮海滦河流域缺水十分严重,泉水干涸,河水断流,地下水便成了重要的供水水源。就是水量丰沛的南方地区,也有许多以地下水供水为主的城市,更何况由于水量时空分布不均和地表水质污染,南方也经常闹水荒。1993 年沿海 300 多个城市因缺水造成上千亿元的经济损失。所以在我国,无论是北方,还是南方,水利建设不仅需要利用地表水,而且需要开采地下水,这就要进行大量的水文地质工作。20 世纪 70 年代以来,为打井抗旱,寻找地下水资源,开展了全国性的水文地质普查工作,兴修农机电井 355 万眼,年开采地下水 500 多亿 m^3 ,发展井灌面积 1.1 亿亩,改造盐碱地 8400 多万亩,解决了数以亿计的人畜饮水困难问题。90 年代末,为了实施国家开发西部战略,我国水文地质工作者又运用遥感技术(RS)、物探、同位素、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和计算机信息系统等先进技术,在西部展开了以重点缺水地区和苦咸水分布地区为主的找水工作,已探明可采地下水量 10 多亿 m^3 ,查明鄂尔多斯盆地蕴藏着丰富的地下水,储量达 250 亿 m^3 ,在被誉为“生命禁区”的罗布泊地区和“死亡之海”的塔克拉玛干沙漠腹地也找到了地下淡水。

从新世纪开始,我国将进入一个全面建设小康社会并加快推进现代化的新的发展阶段。但洪涝灾害频繁、干旱缺水、水生态环境恶化三大问题,尤其是水资源短缺问题,已经成为我国经济社会可持续发展的重要制约因素。1999 年元旦,江泽民同志指出:“水是人类生存的生命线,也是农业和整个经济建设的生命线。我们必须高度重视水的问题。人无远虑,必有近忧。一方面洪涝灾害历来是中华民族的心腹之患,另一方面水资源短缺越来越成为我国农业和经济社会发展的制约因素。我们要在全民族中大力增强保护和合理利用水资源的意识,把兴修水利作为保证我国跨世纪发展目标的一项重大战略措施来抓”。水利大发展,需要地质勘察研究为先导,水利地质工作者的任务是光荣而艰巨的。

值得注意的是,面向 21 世纪的中国水利正在实现由“工程水利”向“资源水利”的转变。所谓的资源水利,就是要水资源与国民经济和社会发展紧密联系起来,进行综合开发,科学管理。它主要体现在水资源的开发、利用、治理、配置、节约和保护等 6 个方面。从当前和今后发展来看,水资源的配置、节约和保护三个方面的任务将更为突出。这就要求我们在水利工作中,不仅注重水利工程的兴建,而且更注意水资源的保护。工程地质与水文地质要适应新的水利形势,要从资源水利的角度,重新认识工程地质条件和工程地质问题,要利用它们的双重属性,在保证工程建筑安全稳定的前提下,要兼顾水资源的有效控制利用和水环境的保护。如地下水在工程地质条件中常对工程的稳定性和渗漏性产生不利

影响，但地下水又是一种宝贵的水资源，在工程采取隔水和排水措施时，要考虑利用它和保护它。水库渗漏，对水库蓄水不利，但在一定条件下它可调节下游地下水，补充泉水和井的流量。如果坚持传统的设计目标——防止任何一点渗漏，那么坚固的大坝将会隔断河流与地下水之间的水力联系。地下水因得不到补充，使其水位下降，河岸边的湿地消失，大自然的生态环境遭到了破坏。

二、本课程的主要内容与教学要求

本课程是水利水电工程专业和农业水利技术专业的一门专业课，主要内容有：

(1) 地质基础部分 包括第一、二、三章。主要是介绍关于地球、地质方面的基础知识。如地球的圈层构造、地形地貌、地质作用、地层和地质年代、矿物及岩石、地质构造、岩体结构、地震、物理地质作用与现象等。并就岩石、第四纪松散沉积物和岩体的工程地质性质，地质构造与工程建设的关系，以及地震等不良地质现象对工程的影响作了一般介绍。此外，还附有典型实例图件和资料，以便学会阅读、分析及应用。

(2) 水文地质部分 即第四章。主要讲述地下水的形成、赋存条件和运动规律，地下水的埋藏类型及其特征，地下水向集水建筑物的稳定运动，以及地下水资源评价。

(3) 工程地质部分 即第五章。主要介绍了水利建设中常遇到的一些工程地质问题，如坝基、隧洞围岩稳定问题，坝区、库区渗漏问题。还有水利环境地质问题，这是现代工程地质学发展和研究中的一个重要方面。对坝址、坝型选择的工程地质条件仅作了一般性介绍。

以上三部分是相互关联和逐步联系专业实际的，在教学过程中应运用辩证唯物主义的观点和方法，理论联系实际，地质联系工程，由浅入深，循序渐进。

本课程实践性很强，根据部颁教学大纲要求，其基本教学过程，分讲课、实验实训课及作业和野外地质实习三个环节。通过学习，应达到以下几点教学要求：

1) 掌握工程地质与水文地质基本知识，能识别常见的岩石、地质构造和地质现象，并初步认识它们对水利工程的影响。

2) 学会阅读工程地质与水文地质资料（包括地质图和地质报告），对水利建设中常遇到的工程地质问题有一定的分析、评价能力。

3) 能对一般工程地质问题提出处理措施意见。

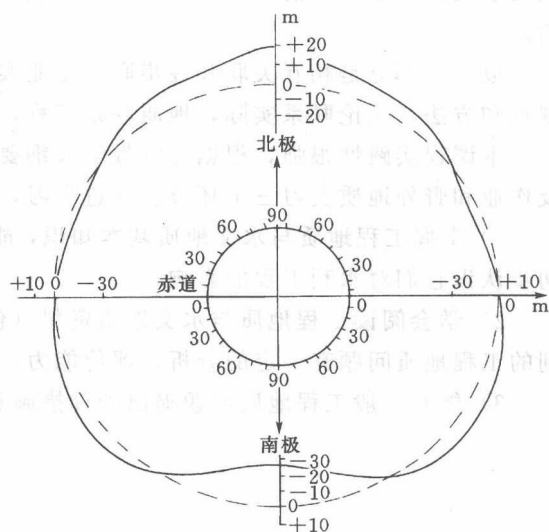
第一章 地 层 岩 性

第一节 地 球 概 述

在广袤无垠的宇宙中，有一颗蔚蓝色的星球，她就是人类的家园——地球。地球是一个围绕太阳转动的椭球体，两极略扁平、赤道稍突出。地球距太阳约 1.5 亿 km，其公转时线速度为 10.8 万 km/h；自转时赤道上任何一点的线速度为 1674km/h。人造地球卫星测量表明，地球南北两极也不对称，其北极凸出 18.9m，南极则凹下 25.8m，而且北纬 45°地带略显凸出。如果夸大来看，地球的形状近似像一个不规则的梨（图 1-1）。地球上拥有丰富的矿产资源，适度的重力和磁场，适宜生命生存繁衍的气温、气压和湿度，含有足够氧气的空气和滋润生物的水源，从而使她成为人类生命的摇篮。迄今为止，宇宙生命科学探索表明，地球之外的其他星球还无生命存在的事实。



(a)



(b)

图 1-1 地球的形状

(a) 人造卫星拍摄的地球照片；(b) 人造卫星测量的地球形状剖面示意图

一、地球的圈层构造

地球是由不同物理状态和化学成分的物质所组成的，具有同心圈层构造。地球由表及里可分为外圈（包括大气圈、水圈、生物圈）和内圈（包括地壳、地幔、地核），如表 1-1 所示。

表 1-1

地球的圈层构造情况

圈 层		厚度 (km)	体积 ($\times 10^{27}\text{cm}^3$)	质量 ($\times 10^{27}\text{g}$)	平均密度 (g/cm^3)	主要物质成分
外圈	大气圈	>10000		0.0000057		N_2 、 O_2 、Ar、 CO_2 等
	水圈	3.8	0.00138	0.00143	1.03	H、O、Cl、Na、Mg、K、 CO_2 等
	生物圈	30		0.0000002		H、O、C、N、Ca、K、Si、Mg、P、S、Al 等
内圈	地壳	16	0.015	0.043	2.8	O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等
	地幔	2884	0.892	4.054	4.5	O、Si、Fe、Mg、S、Cr、Ni 等
	地核	3471	0.175	1.876	10.7	Fe、Ni 等

(一) 地球的外部圈层

1. 大气圈

大气圈是环绕地球表面的空气层,其厚度在上千甚至上万公里以上。在远离地表 1.6 万 km 的高空,还存着大气的痕迹。大气的质量为 $5.7 \times 10^{15}\text{t}$,主要物质成分为氮(占大于 78.09%)、氧(占 20.95%),其次是氩、二氧化碳、氖、氦、氪、氢、氙、臭氧、水蒸气和尘埃等。大气层从下而上可分为对流层、平流层、中间层、热层和大气外层。大气质量的 3/4 和几乎全部水蒸气都集中在靠近地表面 8~17km 的对流层,因此这里是产生风、云、雨、雪、阴晴等气候现象的场所,与人类关系极为密切。对流层的大气变化有一个基本规律,即空气的密度和温度均随着高度的增加而逐渐降低。上层空气对下层空气有着压迫力,这就是大气压,海平面的大气压力约为 0.1MPa;一般高度平均每升高 100m,温度就下降 0.65°C 。

在距地面 20~30km 的高空,为臭氧(O_3)分子相对密集的臭氧层,它保护地球生物不受太阳高温直接照射和强紫外线辐射。科学家观测到,自 1977 年以来,冬春季南北极上空的臭氧逐年减少,特别是南极上空 50%以上的臭氧层已经消失,形成臭氧空洞,严重威胁着地球上的生物和人类的安全。

大气圈对地球而言具有重要的意义,它不仅维系着地球上所有的生命,而且对地壳岩石和地形地貌的形成与变化有着极大的影响。

2. 水圈

水圈是包围地面及其附近的一个连续水层。它包括地表水、地下水、大气水和生物水。组成水圈的主要化学成分有氢、氧,其次为氯、钠、镁、二氧化碳等。地球上的水量是极其丰富的,总储水量约为 13.86 亿 km^3 ,其中海水占 96.54%,冰川占 1.74%,地下水占 1.69%,江河湖水约占 0.029%,大气水约占 0.01%,生物水占 0.01%。地表水、地下水和大气水在太阳辐射热的影响下,不断地进行着水循环,并转变为强大的动能,成为改变地表面貌和地壳岩石的重要因素。

水圈的存在,对生命的起源和生物界的演化、发展曾起过十分重要的作用。水是生命之源。对人类而言,只有能够直接使用,并且可以逐年更新恢复的淡水才称得上是水资源。地球表面虽有近 3/4 的面积被水覆盖着,但其中绝大部分是含盐量高达 3.5%的海水,其次是还不可能取用的南北极冰川水。地球上的水,只有约 1%可供人类使用。20 世纪末,全

球性的淡水资源日益严重短缺，联合国大会已决定从 1993 年开始，把每年的 3 月 22 日定为“世界水日”。

3. 生物圈

生物圈是地球上的生物及其分布和活动的范围。在大气圈的下层和水圈的大部分中，以及地表面和地壳表层的土壤与岩石里，都有生命物质的存在，生物圈厚达 30km，其质量约等于大气圈的 1/300，水圈的 1/7000，地壳的 1/10 万。目前地球上有 60 亿人，现存的物种为 1000 万种，已知（正式命名）的动物有 150 多万种、植物 50 多万种和大量的微生物，生物富集的化学元素主要是 H、O、C、N、Ca、K、Si、Mg、P、S、Al 等。生物的活动是改造大自然的一个积极因素，地表风化的岩石就是经过生物作用才形成原始土壤的。

生物之间、生物与周围环境之间相互依存、相互影响，共同组成一个不可分割的整体——地球生态系统。人类是这个系统中最能动的，也是最具破坏力的因素。历史发展到 20 世纪，人类活动已经开始对地球系统中的一些过程产生不可忽视的影响。特别是近 50 年来，人类对自然生态环境和资源的破坏，有时已经达到可以威胁人类自身生存的严重程度，如资源短缺、土地退化、地面裂缝塌陷、植被减少、水土流失、酸雨、气候变暖、海平面上升、泉水干涸、河道断流、环境污染、生物种类灭绝、灾害频繁、生态失衡等。人类活动引起全球性或区域性的环境破坏，是当今地球面貌的新特征。如何协调人与自然的关系成为 20 世纪地球科学研究的一个重要方面，也将是 21 世纪地球科学发展的主要目标。

（二）地球的内部圈层

人们对地球的认识，最早是从地面以下的固体地球开始的。它是一个巨大的实心球体，其表面积为 51000 万 km^2 ，体积为 10832 亿 km^3 ，质量为 $5.973 \times 10^{21} \text{t}$ ，平均密度为 5.515g/cm^3 。赤道半径为 6378.139km，极半径为 6356.755km，平均半径为 6371.2km。

研究地球内部的构造及其物质状态，主要是采用地震学的方法。根据地震波在地球内部不同深度和不同物质中传播速度的差异，科学家推断在其内部有两个物质分异最明显的界面，即莫霍面（1909 年南斯拉夫的莫霍洛维奇测定了此面）和古登堡面（1913 年美国的古登堡测定了此面），这两个面将固体地球内部分为地壳、地幔和地核三个圈层（图 1-2）。

1. 地壳

地壳位于莫霍面以上，是由岩石组成的固体地球的外壳，平均厚度为 16km。地表面处于常温常压状态，到地壳底部温度增高到 1000℃ 左右，压力增至约 1GPa。目前在地球上发现最古老岩石的年龄为 40 亿~43 亿年，证明今天的地壳至少是在 40 亿年前就形成了。自那以后，地球只是在有了地壳、陆地、海洋、大气、生物的基础上向前发展的。

（1）地壳的厚度和结构 全球地壳的厚度和结构很不均匀（图 1-3）。大陆地壳较厚，平均为 33km，其中平原和沿海地区为 20~30 多 km，高原和山区为 40~60km。我国大陆地区的地壳厚度的变化也很大，如北京为 46km，广州为 31km，南京为 32km，兰州为 53km，世界屋脊——青藏高原厚达 72km。大陆地壳具有双层结构，上层为硅铝层（又称花岗岩层），主要成分为硅（占 73%）、铝（占 13%），平均密度为 2.7g/cm^3 。下层为硅镁层（又称玄武岩层），主要成分除含 60% 以上的硅铝氧化物外，还含有较多的铁镁氧化物（占 16%），平均密度为 2.9g/cm^3 。海洋地壳不仅为单层结构（缺失硅铝层），而且很薄，平均厚度只有 6km，在南美洲圭亚那离海岸约 1600m 的大西洋中，地壳厚度仅 1.6km，是全球

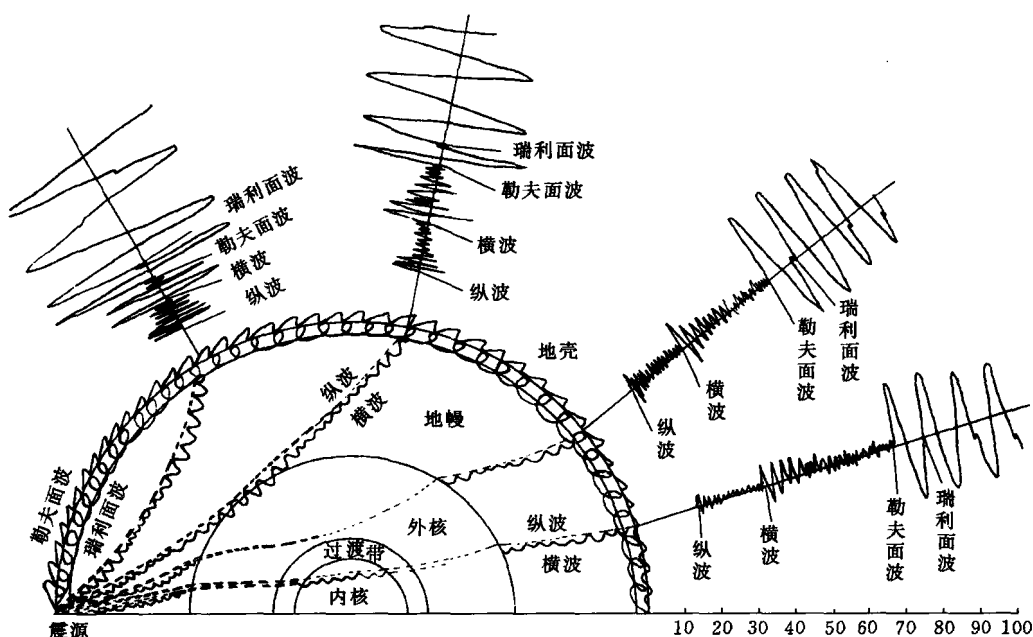


图 1-2 地震波探测的固体地球内部圈层构造示意图

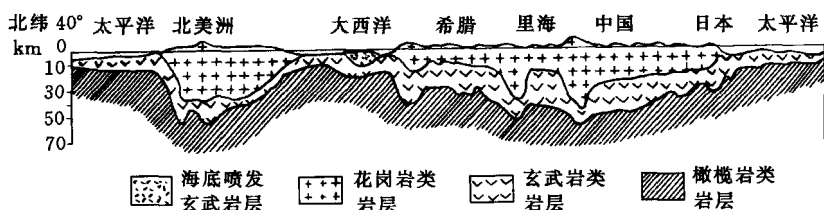


图 1-3 地壳结构剖面图

地壳最薄的地方。

地壳厚度的差异和硅铝层的不连续分布状态，形成地壳构造的主要特点。由于地壳物质在水平和垂直方向上的不均匀性，势必导致地壳经常进行物质的重新分配调整，这是引起地壳运动的因素之一。

(2) 地壳的物质组成 组成地壳的基本物质是各种化学元素。目前在地壳中已发现 90 多种元素，其中以 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等 9 种元素为主，它们约占地壳总质量的 98% 以上，但分布极不均匀。许多重要的有用金属元素，在地壳中含量甚微，如金的含量只占 $5 \times 10^{-7}\%$ ，铜只占 0.01%，但是在地质作用下，它们不断迁移，并在一定地段富集起来，形成有开采价值的矿产。各种元素在地壳中的平均含量（重量百分比）称为克拉克值（1889 年由美国地球化学家克拉克提出，见表 1-2）。

地壳中的化学元素往往聚集起来，以各种化合物或单质产出，形成矿物。目前人类已发现的矿物约有 3000 多种。各种矿物绝大多数并非孤立存在，而是在一定的环境条件下，按照一定规律组合成岩石。岩石的生成有先有后，不同地质历史时期形成的岩石又构成地